【論文】

Web アクセシビリティのための明度差および色差を用いた視認性予測の検討

A Study of Visibility Prediction using Luminance and Color Difference for Web Accessibility

齋藤大輔(正会員), 齋藤恵一(非会員)^{*1}, 納富一宏(非会員)^{*2},

東 吉彦(非会員)^{*3}, 犬井正男(非会員)^{*3}, 齋藤正男(正会員)^{*4}

Daisuke Saito, Keiichi Saito^{*1}, Kazuhiro Notomi^{*2},
Yoshihiko Azuma^{*3}, Masao Inui^{*3} and Masao Saito^{*4}

Abstract

The approach of the accessibility is necessary for all the people to be able to use the Internet. As the visual elements are very important factors in the Internet, in our previous study, the visibilities of young adults, the elderly and dichromatic vision persons were evaluated using the simulation filters. In this report, we estimated visibility prediction formula from RGB values by the multiple regression analysis. In the analysis an objective variable was assumed to be visibility scores, and explanatory variables were assumed to be a color brightness difference and color difference with the formula defined by W3C/WAI. The visibility of 215 web-safe colors was determined using the formula of W3C/WAI. As the result, the available visibility prediction formula was obtained in all groups.

Key Words

Web accessibility, Visibility prediction, Color brightness difference, Color difference, RGB values

2012 年 2 月 1 日受付

2012 年 11 月 12 日掲載決定

芝浦工業大学,
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作 307

^{*1} 国際医療福祉大学,
〒324-8501 栃木県大田原市北金丸 2600-1

^{*2} 神奈川工科大学,
〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030

^{*3} 東京工芸大学,
〒243-0297 神奈川県厚木市飯山 1583

^{*4} 東京大学名誉教授,
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

Shibaura Institute of Technology,
307 Fukasaku Minuma-ku Saitama-shi Saitama 337-8570

^{*1} International University of Health and Welfare,
2600-1 Kitakanemaru Otawara-shi Tochigi 324-8501

^{*2} Kanagawa Institute of Technology,
1030 Shimooigino Atsugi-shi Kanagawa 243-0292

^{*3} Tokyo Polytechnic University,
1583 Iiyama Atsugi-shi Kanagawa 243-0297

^{*4} Tokyo University,
7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo 113-8656

1. はじめに

高度情報社会となり、情報技術は日々進歩している。中でもインターネット技術の進歩は目覚ましく、PC のみではなく、様々な携帯端末(スマートフォン, PDA, iPad, タブレット PC など)が市販されており、普段の生活の中にインターネットが入り込んでいる。我が国のインターネットの人口普及率は 78.2 %となっている⁽¹⁾。さらに、我が国では、急速な少子高齢化に伴い、全人口に対する 65 歳以上の高齢者の割合は、2055 年で 40.5 %になると予測されている⁽²⁾。また、色覚障害者は、男性の 20 人に 1 人、女性の 500 人に 1 人と、かなり高い割合で存在し、総数は 300 万人以上で、その内訳は P 型(1 型 2 色覚)が約 25 %, D 型(2 型 2 色覚)が約 75 %および T 型(3 型 2 色覚)が約 0.02 %といわれている⁽³⁻⁵⁾。高齢者や障害者のインターネット利用は、生活の質を向上させ、活動範囲を広げる可能性をもっていることから情報のバリアフリー化が重要となる。

現在では、W3C/WAI(World Wide Web Consortium/ Web Accessibility Initiative)や JIS により Web アクセシビリティガイドラインが定められている。その中で視認性に関しては“背景色と前景色に十分なコントラストをつけ見やすくすること⁽⁶⁾”と示されている

だけであったが、その後規格が改訂され現在では“テキスト及び画像化された文字の視覚的な表現には、少なくとも 7:1 のコントラスト比がなければならない。ただし、大きな文字に関しては、4.5:1 のコントラスト比とする⁽⁷⁾”と示されている。このように、Web コンテンツ制作者にとって Web アクセシビリティの整備は行いやすくなったが、Web コンテンツ作成者がより容易に利用できる明確なデータをまとめて公表する必要がある、Web コンテンツ制作に有用となる人間の視覚特性に関するデータが切望されている。そこで我々は、人間の視覚特性を評価し、前景色と背景色の配色による視認性特性について明確にしていく。

これまでに、我々は高齢者および障害者の視認性特性を評価するために、健常若年者に模擬フィルタ(高齢者模擬フィルタおよび色弱模擬フィルタ)を適用し一対比較により視認性を得点化し、健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障害者の視認性得点と色差(ΔE_{00} ^(8,9))の関係により評価を行った。その結果、白色背景においてはどの群においても ΔE_{00} が大きくなると、視認性が高くなる傾向および文字色に G 値を含む場合には注意を払う必要があることを報告した⁽¹⁰⁾。さらに、得られた視認性得点の結果とモニタの輝度および色度(XYZ 表色系)を測定し算出した $L^*a^*b^*$ の値(CIE 均等色空間)を用いて視認性予測が行えることを示した^(11,12)。これらの検討では、モニタの輝度値および色度値が必要であり、実際に用いる色について測色するといったモニタのキャリブレーションが必要であった。

そこで本論文では、モニタにより異なる輝度値や色度値を計測して視認性予測をするのではなく、モニタ上で呈示する色を決定する RGB 値(Web サイトでは色の指定は 16 進数を用いて #RRGGBB で示す。それぞれの RR, GG および BB の値は、赤、緑および青の 256 階調を表す値(00~FF)が入る。)を用いて視認性予測を行う手法を検討し、モニタごとにキャリブレーションを必要としない背景色と文字色の視認性予測手法の検討を行う。特に、一対比較により得た視認性得点を目的変数とし、

W3C/WAI 定義式を用いて算出した明度差および色差を説明変数として重回帰分析法を用いて視認性予測式を導出した。さらに、得られた視認性予測式を用いて背景色(白色)を除いた Web セーフカラーを文字色とした場合の視認性予測得点を算出し、視認性判定を行った。

2. 模擬フィルタ

2.1 高齢者模擬フィルタ

高齢者に関する実験では、実際に高齢者に実験を行ってもらうのが最適であるが、水晶体の白濁の進行には個人差があること、水晶体の白濁以外の目の疾患を患っている可能性があり、純粋に加齢の影響を検討するのが困難である。そこで、個人差を小さくできるという理由から、高齢者の水晶体の分光透過率を模擬したフィルタを用いて健常若年者に高齢者の見え方を体験してもらうことで加齢効果を検討した。本手法で用いた模擬フィルタは、Fig. 1 に示すようなメガネ型で横浜国立大学・岡嶋氏らにより実際の高齢者に対して実験を行い開発され、ジオマティック株式会社より「高齢者水晶体疑似メガネ」として市販されている。このフィルタは、水晶体加齢モデル(Two-factor モデル)に基づき、75 歳の平均的な水晶体の分光透過率を、32 歳の平均的な水晶体の分光透過率で割ったものになるように設計されている(いずれの年齢も目に疾患のない人の水晶体の分光透過率である)。32 歳以外の年齢の人に適用する場合には、Table 1 に示すような対応関係のフィルタとして使用できる⁽¹³⁾。また、この模擬フィルタは、どの色に対しても同様に実効輝度を減少させることから、輝度コントラストの評価において問題なく適用できることが報告されている⁽¹³⁾。本論文では、この高齢者水晶体疑似メガネを高齢者模擬フィルタと呼ぶ。

2.2 色弱模擬フィルタ

色覚障害者に関する実験では、実際の色覚障害者に実験を行ってもらうのが最適であるが、実際の色覚障害者の障碍の度合

Table 1 Corresponding age of simulation

Age of young adults [YRS]	20	24	28	32	34	38	41	44	48
Age of elderly person [YRS]	72	73	74	75	76	77	78	79	80

Fig. 1 Simulation filter of the elderly

Fig. 2 Simulation filter of color vision defective (Variantor)

いが異なり、障碍の度合いを考慮しなければならなくなる。そこで、高齢者と同様に個人差を小さくできるという理由から、模擬フィルタを用いて色覚が正常な健常若年者に重度の色覚障碍を体験してもらうことで最も障碍が重い状態の色覚障碍者の視認性特性を評価した。この模擬フィルタは、Fig. 2 に示すようなメガネ型をしており、豊橋技術科学大学・中内氏らが分光特性について設計を行い、伊東光学工業株式会社が光学フィルタとして実現し、高知工科大学・篠森氏らにより特性評価が行われ、伊東光学工業株式会社により「Variantor (バリエントール)」として市販されている。このフィルタは、L 錐体(赤－黄緑の色を感じる錐体)のないまたは働かない P 型強度と M 錐体(緑－橙の色を感じる錐体)のないまたは働かない D 型強度の両者において見分けにくい配色を一度に検出できるように設計されている⁽¹⁴⁾。これは、P 型強度および D 型強度の色の見え方が類似していることから、一般に P 型と D 型をまとめて赤緑色弱ともいわれており、一度に判定できるようになっている。また、このフィルタは、健常者が装着し、石原式検査を行うことで色覚障碍と判定される⁽¹⁴⁾ことから、研究用、カラーユニバーサルデザイン実験用および体験用として用いられている。本論文では、Variantor を色弱模擬フィルタと呼ぶ。

3. 模擬フィルタを用いた視認性評価

健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障碍者についての視認性評価結果は既報しており、詳細については文献 10 に示されているとおりであり、内容は以下のとおりである。

文献 10 は、モニタを介した情報提示手法として最適な条件を見出すために行った実験である。具体的には、照度が 100 lx となるように調整した実験ブース内で 21 インチ液晶モニタ(株式会社ナナオ製 EIZO ColorEdge CG211)に背景色を白色(#FFFFFF)とし異なる 2 色の文字色で呈示した左右対称文字列(全本中王木日)をサーストンの一対比較法を用いて得点化して評価を行った結果である。使用した文字色は、無彩色および色相環の基準色 6 色(赤、緑、青、シアン、マゼンタおよび黄)ごとにそれぞれ 3 段階輝度の合計 21 色の Web セーフカラーを用いた。この条件下で、健常若年者、健常若年者に高齢者模擬フィルタを装着した模擬高齢者および健常若年者に色弱模擬フィルタを装着した模擬色覚障碍者の 3 条件について同一の実験を行った。暗室内でメガネ型のフィルタを用いているが、刺激部の照度が一定に保たれていることから、暗室での影響はないと考える。以上の条件において得られた視認性得点は、本論文の検討で必要となることから、次節で求める明度差および色差と共に Table 2 にまとめたとおりである。また、文献 10 において実験に参加してもらった健常若年者には、実験内容を十分に説明し、インフォームドコンセントを得て行った。

さらに、文献 10 では色差(ΔE_{00})と視認性得点の関係を示した。その結果、どの群においても ΔE_{00} が大きくなると、視認性が高くなる傾向を示した。また、全ての群において $\Delta E_{00} \geq 42$ の場合には、視認性得点が全ての群で正の値を示していることから、 ΔE_{00} が 42 以上の値となる場合に若年者、模擬高齢者および模擬色覚障碍者の全ての群で視認性が高いと判定できる。この視認性が

高いと判定された範囲の文字色は、黒、青系、赤系およびマゼンタ系色であり、これらの文字色は白色背景の場合には全ての群において有効であることが示された。また、これらの文字色は、RGB 値の G 値を含まない色であったことから、白色背景においては文字色に G 値を含む文字色を用いる場合には注意を払う必要があることが示された。以上の結果から、視認性は色差を用いることで予測できる可能性が示された。

しかし、この手法で用いた色差は、モニタの輝度および色度を計測し算出したものである。したがって、異なるモニタを用いた場合には、モニタごとに発色が異なることから、しきい値が異なってしまう可能性を含んでいる。個々のモニタの輝度および色度を測定し、視認性を判定することは、初期設定が大がかりになり、容易に用いることができない。そこで、モニタの特性によらない視認性予測手法を検討する必要がある。新たに色を決定するカラーコード(RGB 値)を用いて視認性予測が行えないかと考えた。

4. 明度差および色差の算出

明度差および色差は、様々な定義がある。輝度(Y)および色度(x, y)に基づくもの、CIE 均等色空間による $L^*a^*b^*$ あるいは $L^*u^*v^*$ に基づくもの、RGB 値に基づくものなどがある。これまでに、輝度(Y)および色度(x, y)、および $L^*a^*b^*$ を用いた検討は行ってきたが、これらの検討においては、前述したとおりモニタの使用環境や設置場所によって同じ色を呈示しても呈示できる色が異なってしまうという問題点があった。そこで、どのモニタにおいても変化することのない色の設定値である RGB 値により算出した明度差および色差を用いて視認性を予測する手法を検討した。本手法で用いた明度差および色差は W3C/WAI において定義されており、次式に示すとおりである。

$$\text{明度差} = \frac{299 \times |R_b - R_f| + 587 \times |G_b - G_f| + 114 \times |B_b - B_f|}{1000} \quad (1)$$

$$\text{色差} = |R_b - R_f| + |G_b - G_f| + |B_b - B_f| \quad (2)$$

ただし、 R_b , G_b および B_b はそれぞれ背景色の R, G および B 値、 R_f , G_f および B_f はそれぞれ文字色の R, G および B 値である。本手法においては、Web サイト作成において一般的に色指定は 16 進数で表されるが、(1)および(2)式を用いて計算する場合は、16 進数のままでは計算できないことから、10 進数に変換して計算を行った。また、W3C/WAI では(1)式により求められた明度差が 125 以上かつ(2)式によって求めた色差が 500 以上であれば視認性が高い組合せと判定している。

文献 10 で用いた背景色と文字色の明度差および色差を算出し、視認性得点と共に Table 2 にまとめた。Table 2 によると、W3C/WAI で視認性が高いと判定される配色であっても、実際には視認性が高いと判定されていない色があることがわかった。W3C/WAI で設定されている色差の条件は、視認性が確実に高いと判定できる厳しい条件で設定されており、IBM では明度差については同条件であるが、(2)式で算出した色差が 400 以上で視認性が高いと判定している。この条件を採用しても一対比較で得

Table 2 Visibility score and calculated color brightness difference and color difference

Font color	Visibility score			Color brightness difference	Color difference
	Young adults	Simulated elderly person	Simulated color amblyopia		
#000000	2.43	2.29	2.47	255	765
#000099	2.23	2.09	2.10	238	612
#0000CC	2.57	2.502	2.33	232	561
#0000FF	2.45	2.50	2.38	226	510
#009900	0.772	0.810	-0.544	165	612
#009999	-0.0271	0.147	-0.770	147	459
#00CC00	-0.627	-0.578	-1.54	135	561
#00CCCC	-1.70	-1.06	-2.47	112	357
#00FF00	-1.60	-0.931	-2.39	105	510
#00FFFF	-2.15	-1.68	-3.78	76.2	255
#990000	1.82	1.57	2.25	209	612
#990099	1.18	0.929	1.93	192	459
#999900	-1.46	-1.35	-0.589	119	459
#999999	-1.91	-1.83	-1.22	102	306
#CC0000	1.83	1.82	2.05	194	561
#CC00CC	1.24	0.943	1.81	171	357
#CCCC00	-2.44	-2.89	-2.04	74.3	357
#CCCCCC	-3.44	-3.60	-3.02	51.0	153
#FF0000	1.77	1.53	1.98	179	510
#FF00FF	0.640	0.316	1.52	150	255
#FFFF00	-3.84	-3.77	-2.87	29.1	255

た視認性得点と一致しなかった。したがって、実際の視認性特性を反映した視認性判定が行える判定方法を検討する必要があると考えた。我々は、実際の視認性特性を反映した視認性判定を行うために、(1)および(2)式により算出できる明度差および色差を用いて視認性予測手法を検討した。

5. 明度差および色差を用いた視認性予測式の導出

視認性特性を反映した視認性予測手法として、重回帰分析を用いて視認性予測を行えないかと考えた。具体的には、視認性予測得点(S)を目的変数、明度差(L)および色差(E)を説明変数として回帰係数および定数項を求め視認性予測得点と明度差および色差の関係を導く。したがって、本手法での視認性予測式は次式のようになる。

$$S = aL + bE + c \quad (3)$$

ただし、 a および b はそれぞれ明度差および色差の回帰係数で、

c は定数項である。

Table 2 に示した視認性得点、明度差および色差を用いて健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障害者の回帰係数および定数項をそれぞれ求めた。その結果、健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障害者の視認性予測得点をそれぞれ S_Y 、 S_E および S_C とすると視認性予測式は次式のとおりととなった。

$$S_Y = 0.0347L - 0.00161E - 4.51 \quad (4)$$

$$S_E = 0.0314L - 0.000643E - 4.44 \quad (5)$$

$$S_C = 0.0406L - 0.00478E - 3.97 \quad (6)$$

(4)~(6)式で得られる視認性予測得点が高いほど視認性が高いことを意味し、正の値となるものを視認性の高い配色、負の値となるものを視認性の低い配色と判定した。また、本手法で得られた視認性予測式の精度を確認するため(4)~(6)式を用いて実測値の視認性予測得点を算出し、実測値との正答率(実測値と同一の判定数/配色数)により比較した。その結果、健常若年者、

模擬高齢者および模擬色覚障害者の予測の正答率はそれぞれ 1.00, 0.95, 1.00 であり, 模擬高齢者の視認性予測が一組異なった以外は全て同一の判定であり, 実測値においては, 判定が正確に行えることを確認した. 以上のことから, (4)~(6)式を用いて実測値以外の文字色についても判定可能であると考えた. また, 得られた(4)~(6)式についての偏相関係数をみると, 健常若年者, 模擬高齢者および模擬色覚障害者の明度差はそれぞれ0.927, 0.940および0.898, 色差はそれぞれ-0.345, -0.135および-0.499であった. このことから, どの群においても明度差の関与が強く, 色差の影響は模擬色覚障害者, 健常若年者, 模擬高齢者の順で関与が強いことが示された. 模擬色覚障害者については L 錐体および M 錐体がないあるいは作用しないために赤-緑の見え方が健常者と異なることから, 色差の影響が強くなることは当然の結果であるといえる. また, 健常若年者より模擬高齢者で色差の影響が小さくなる傾向は, 実際に高齢者を用いた実験を行った際に若年者より高齢者の方が輝度コントラストの影響が強くなり色度の影響が小さくなっていった⁽¹⁴⁾ことを反映しているものと考えられ, 今回得た視認性予測式が実際の視認性特性をよく反映していると考える. そこで, 実測した文字色以外の Web セーフカラーについて明度差および色差を算出して視認性予測を行った.

6. 明度差および色差を用いた視認性予測得点の算出

Web セーフカラーは, R 値, G 値, B 値がそれぞれ 16 進数表記で 00, 33, 66, 99, CC および FF の組合せで表される 216 色である. 背景色(白: #FFFFFF)を除いた Web セーフカラー 215 色を文字色としたときの視認性判定を(4)~(6)式を用いて行った. 視認性予測得点は次の手順により行った. まず, Web セーフカラー全色について 16 進数から 10 進数に変換(00=0, 33=51, 66=102, 99=153, CC=204 および FF=255)し, これらの値を(1)および(2)式代入し, 背景色と 215 色の文字色の明度差および色差を算出した. 次に, (1)および(2)式により得られた明度差および色差を(4)~(6)式に代入し, 視認性予測得点を算出した. さらに, これまでの結果との比較のため, (4)~(6)式により得た視認性得点と色差(ΔE_{00})との関係を Fig. 3 に示した. Fig. 3 の横軸は ΔE_{00} を示し, 値が大きくなるにしたがって色差が大きくなることを示す. 縦軸は(4)~(6)式により算出した視認性予測得点を示し, 得点が高いほど視認性が高いことを示し, 視認性判定基準は 5 節で示した判定基準と同様である.

Fig. 3 によると, 全ての群において ΔE_{00} が大きくなると視認性が高くなる傾向であり, 特に健常若年者と模擬高齢者の傾向は類似していた. 詳細にみると, 全ての群において視認性予測得点の最低点に差はみられなかったが, 模擬高齢者および模擬色覚障害者の視認性予測得点の最高得点が 3 程度であったのに対し, 健常若年者においては 4 程度の得点となっていた. また, 模擬色覚障害者においては ΔE_{00} が大きくなると視認性予測得点のばらつきが大きくなる傾向がみられた. 視認性予測得点の幅が小さくなるのは視認性特性が低下していることが反映され, 模擬色覚障害者において ΔE_{00} が大きくなると視認性予測得点にばらつきがみられたのは障碍による色覚特性が現れていると考える.

Fig. 3 The relationship between the ΔE_{00} and the score

さらに, 健常若年者, 模擬高齢者および模擬色覚障害者の間で視認性判定が異なった文字色が 27 色あった. 特に, 背景色と文字色の明度差が 130~149.5 の範囲にある 23 色全てで視認性判定が異なっていた. それ以外の 4 色は #009900, #009933, #009966 および #339900 であり明度差はそれぞれ 165.2, 159.4, 153.6 および 149.9 であった. これら 4 色は G 値が 99 と一定であり, Web セーフカラー全色を確認したところ G 値が 99 以上 (99, CC および FF) の値をとる色の視認性は全て視認性が低いと判定されていた. このことから, 白色背景においては, G 値が 99 以上となる色の使用は不可とし, 明度差が 130~150 を視認性判定が異なる範囲と考えるグレーゾーンと考え, 明度差が 150 以上が視認性が高いと判定できた. W3C/WAI の基準では, 明度差 125, 色差 500 以上で視認性が高い背景色と文字色の組合せとしており,

本手法は W3C/WAI の規格よりも厳しい判定基準となるが、明度差のみで判定できることが示された。また今回の結果をコントラスト比で検討すると、コントラスト比 5.4:1 以上となる配色で視認性が高いと判定され、現在用いられている 7:1 のコントラスト比が必要という条件よりは緩いが大きな文字サイズの 4.5:1 のコントラスト比が必要という条件よりは厳しい条件での判定結果であった。

以上のことから、白色背景においては、文字色の G 値が 99 となる色の使用を避け、背景色と文字色の明度差を 150 以上とすることで視認性の高い情報提示を行えるものとする。したがって、本手法は屋内におけるモニタ閲覧時の照度環境およびモニタの違いを考慮することなく背景色と文字色の配色設定時に視認性判定を行えることから、有効に用いることができる。

7. おわりに

健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障碍者の視認性評価実験により得られた視認性得点と RGB 値を用いて算出した明度差および色差を用いて重回帰分析を行い、白色背景における前景色と文字色の視認性予測式を求めた。その結果、得られた視認性予測式は実際の視覚特性をよく反映していることがわかった。そこで、この予測式を用いて白色背景において Web セーフカラー 215 色を文字色としたときの視認性予測得点を算出し視認性を判定した。その結果、どの群においても色差 (ΔE_{00}) が大きくなると視認性が高くなる傾向が得られた。一方、G 値が 99 以上となる文字色の視認性が低くなることがわかった。さらに、明度差が 130~150 の範囲では、群により視認性判定が異なることがわかった。以上より、白色背景での文字色は、G 値が 99 以上の色の使用を避け、背景色と文字色の明度差は 150 以上とすることで、色覚特性に違いがあっても高い視認性の配色となることが示され Web アクセシビリティの向上に資すると考えた。また、本手法は、コンピュータ内で取り扱われている RGB 値を用いて視認性予測を行っているため、屋内での照度環境およびディスプレイ特性の違いを考慮する必要がなく背景と文字の配色を設定することができることから有効な手法となる。

今回の検討は、白色背景のみである。現在の Web サイトにおける背景色は、白色のみではなく様々な色が用いられ、無彩色のみではなく有彩色も用いられる。したがって、今後は他の背景色についても検討を行い、今回得られた視認性判定式の汎用性を検討するとともに、より汎化能力の高いものに改善していく必要がある。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B)課題番号 24700213)により行われた。

参考文献

- 1) 総務省, 情報通信白書平成23年度版. ぎょうせい, 2011: 186.
- 2) 厚生労働省, 厚生労働白書平成23年度版. ぎょうせい, 2011: 24.
- 3) 岡部正隆, 伊藤啓, 色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション(全3回)第1回 色覚の原理と色盲のメカニズム. 細胞工学 2002; 21(7): 733-745.
- 4) 岡部正隆, 伊藤啓, 色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション(全3回)第2回 色覚が変化すると、どのように色が見えるのか?. 細胞工学 2002; 21(8): 909-930.
- 5) 岡部正隆, 伊藤啓, 色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション(全3回)第3回 全ての人に見やすくするためには、どのように配慮すればよいか. 細胞工学 2002; 21(8): 1080-1104.
- 6) M. G. Paciello, Web Accessibility for People with Disabilities. CMP Books 2000: 47-68.
- 7) JIS X 8341-3:2010 高齢者・障害者等配慮設計指針 -情報通信における機械、ソフトウェア及びサービス- 第3部:ウェブコンテンツ. 2010: 18.
- 8) CIE, Improvement to industrial color difference evaluation. CIE publication 2001; No.142.
- 9) G. Sharma, W. Wu, E. N. Dalal, The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. Color research and application 2005; 30(1): 21-30.
- 10) 齋藤大輔, 齋藤恵一, 納富一宏, 齋藤正男, 東吉彦, 犬井正男, 模擬フィルタを用いた高齢者および色覚障碍者の視認性評価. バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌 2009; 11(2): 73-78.
- 11) 齋藤大輔, 齋藤恵一, 納富一宏, 齋藤正男, 東吉彦, 犬井正男, 判別分析と模擬フィルタを用いた高齢者および色覚障碍者の視認性予測の試み. バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌 2010; 12(1): 53-59.
- 12) 齋藤大輔, 齋藤恵一, 納富一宏, 東吉彦, 犬井正男, 齋藤正男, Webアクセシビリティを考慮したWebセーフカラーの視認性予測精度の検討. バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌 2011; 13(2): 19-25.
- 13) 岡嶋克典, 吉田博, 氏原彰, 輝度コントラストの加齢変化に基づく高齢者の色視認性評価法: 計算シミュレーションと高齢者水晶体疑似フィルタ. 日本色彩学会誌 2000; 24(3): 164-170.
- 14) 宮澤佳苗, 中内茂樹, 篠森敬三, カラーユニバーサルデザインツールとしての色弱模擬フィルタ. 日本色彩学会誌 2008; 32(1): 31-36.
- 15) 齋藤大輔, 齋藤恵一, 納富一宏, 齋藤正男, 白色背景におけるWebセーフカラーに対する視認性の加齢変化. 生体医工学 2004; 43(1): 68-75.